特集2・食品産業廃棄物のメタン発酵技術

嫌気発酵処理への植物抽出液の添加による 汚泥低減化技術の開発

田代 榮一*

キーワード：メタン発酵，サポニン，非食用内臓

1. 研究の背景

畜産加工に伴って発生する畜産副産物（内臓、血液、骨など）の多くは食用として利用されており、それ以外にも医療、農業、工業などに利用されている。食用以外の内臓（非食用内臓）の大半は農業用飼料として活用されており、他分野への活用はほとんどないのが現状である。現在、豚の非食用内臓の割合は豚全体の7.2%（重量比）あり、1999年度ではおよそ21,000トン発生している。そのため、単に農業用飼料としてだけでなく新たな利用方法についても検討し、多様な利用を見いだすことが環境および経済的なリスクを分散するという点で望ましい。このような背景から、畜産加工に伴って発生する非食用内臓の新しい利用方法について検討することとした。ここでは、微生物活性助剤を用いた嫌気性消化（メタン発酵）により資源化が可能であるかを検討することを中心的な技術開発とし、非食用内臓のメタン発酵に関する全体的なシステムについて検討した。

2. 研究の目的

非食用内臓の消化に関して次の3項目について検討した。なお、微生物活性助剤に関する基礎研究、メタン発酵によって発生する余剰汚泥の濃縮・脱水の研究及び脱水工程から発生するろ液の処理の研究も実施したが、ここでは、主たる研究テーマであるメタン発酵について述べ、他の研究テーマについては割愛する。詳しくは「食品産業における排水・汚泥低減化技術の未来を拓く、食品産業環境保全技術研究組合編」を参照されたい。

2.1 固形物可溶化へのサポニン添加による影響の検討

食品工場から排出される非食用内臓は固形物濃度が高く、有機物、油分も高いことから、メタン発酵を順調に行うには、まず、固形物の可溶化が重要になる。そこで微生物活性助剤であるサポニンを用いて内臓を可溶化させることが可能であるかを検討した。

2.2 小型実験装置を用いた非食用内臓へのサポニン添加による検討

固形物濃度が高く油分濃度も高い非食用内臓がサポニンを用いたメタン発酵によって処理できるかを検討するために、小型のメタン発酵装置を用いて検討した。

2.3 大型実験装置を用いた実証実験による検討

小型実験装置による実験で得た結果に基づき、実施施設とほぼ同様の条件となる大型の実験装置を用いて、より実際の運用に近い形で実験を行いサポニンの効果について検討した。

3. 微生物活性助剤（サポニン）

微生物活性助剤として用いたサポニン（Saponin）とは、植物に含まれる配糖体のうち界面活性作用を持つものの総称である。南米諸国やヨーロッパでは古くから天然の洗浄剤、発泡剤として使用されている。現在アメリカでは、加工食品や飲料にも使用することが許可されており、安全性も確認されている。

サポニンは非糖部サポゲニンと糖部から成る配糖体で、分子量は1,500～2,000である。サポゲニンの種類により、ステロイド系サポニン、トリテルペノイド系サポニンとステロイド・アルカロイド配糖体

Study on the sludge reduction system using unaerobic process

*田代興業(株) Eiichi TASHIRO

表1 キラヤサポニン抽出物原液の成分

成分	構成 (%)
天然サポニン (トリテルペノイドキラヤサポニン)	4.0
糖類	19.5
粗タンパク	1.1
灰分	3.1
粗脂肪	0.1
エタノール	9.8
水分	60.6
その他 (無機分, SS など)	1.8

に分類されている。本研究で使用したキラヤサポニンはトリテルペノイド系サポニンに属し、南米チリ産のキラヤ木〔別名：パナマウッド、シャボンの木〕学名 *Quillaja Saponaria* Mol (Rosaceae) の樹皮を原材料としている。

本研究に使用したキラヤサポニン抽出物原液の成分を表1に示す。

一般的にサポニンの特性として以下があげられる。

- 1) 表面張力低下
- 2) 気泡力
- 3) 乳化作用
- 4) コレステロールとの複合体形成作用
- 5) 抗菌作用
- 6) 溶血作用 (血球破壊作用)
- 7) 成長促進および成長抑制作用

4. 固形物可溶化へのサポニン添加による影響の検討

4.1 実験装置と実験方法

実験装置は密閉性ポリ容器を用い、容量2Lのものをを用いた。容器内の搅拌は、手動で1日2回程度振とうさせた。試料となる非食用の内臓は食品工場から排出された豚の非食用内臓で、それを小さく切って卓上ミキサで破碎し、適当な濃度に調整して実験に用いた。試料の性状を表2に示す。

実験方法は容器に試料1Lとサポニンを混合させ投入した。可溶化を見極めるためにサポニン添加濃

表2 非食用内臓の性状

pH	6.53
DOC (mg/L)	2920
SS (mg/L)	147000
VSS (mg/L)	131000

度を4段階に変化させて添加した。比較のために無添加についても実験を行った。性状の分析には容器から2～3回混合液をとり、その混合液をpH、DOC、SS、VSSの分析に用いた。

4.2 結果

実験開始直後、酸性に傾いたが、実験開始後2日経過した時点で変化が止まり、アルカリ性に変化した。DOCはサポニンを添加したもののすべてが実験開始後から上昇し、実験開始後2日で約200～300%の上昇を示した。

可溶化が促進されればSSは急激な減少を示すが、サポニンを添加しなかった場合はSSの減少は見られなかった。しかし、サポニンを添加した場合はいずれも減少の傾向が見られ、添加量が多いほどSSの低減率は高くなった。特にサポニンを最も多く添加した1000ppmに関しては、実験開始後2日でSSの低減率50%という結果となった。サポニンの添加量は試料量と比べて微量であり、添加したことによる試料の希釈によってSSが低下したとは考えにくく、サポニンによって可溶化が促進されたと考えられる。実験開始2日後のVSSの低減率を図-1に示す。サポニンを1000mg添加したものは約45%の低減率を示した。

4.3 考察

メタン発酵による有機固形物の処理には可溶化が重要である。消化槽内で可溶化を促進させるためには高温消化や高速搅拌による方法があるが、エネルギーを大量に消費するという欠点がある。このような点で、微生物活性助剤 (サポニン) の添加によって可溶化の促進が確認できた意義は大きい。実験開始2日でSSは低下し、DOCは大幅に増加した。また、サポニンを多く添加するほどSSの低下が見られた。DOCについてはサポニンの添加量が多いほど増加するものではなかったもので、非食用内臓のメ

図-1 VSSの低減率

タン発酵についてはサポニンの添加量は100ppm～200ppmの添加が適切ではないと思われる。

5．小型実験装置を用いた非食用内臓へのサポニン添加による検討

5.1 実験装置と実験方法

実施設に近い行程を想定して半連続式実験を採用した。有機物負荷は約4.5～9.0 kg/㎡・dayとなるように、消化槽に投入する試料である非食用内臓の量を0.1 L～0.3 L/day程度（HRT：40～14日程度）とした。

実験装置図を図－2に示す。実験装置の消化槽容量は5 Lである。発生ガスはガスタンクに置換され測定できるようになっている。反応槽温度は装置の

実験装置により制御され、37℃の中温消化で行った。攪拌も速度を制御できる攪拌装置があり、攪拌速度は100rpmで行った。

実験方法は、消化汚泥4 Lを消化槽に投入し、試料である非食用内臓を0.1 L、0.2 L、0.3 Lと有機物濃度別に3段階に分けサポニン100ppmと混合させ毎日消化槽に投入した。ただし、投入前には消化槽混合液を試料と同量引き抜き、引き抜いた汚泥は性状分析に用いた。実験で用いた非食用内臓と消化汚泥の性状及び実験開始前の消化槽中の混合液初期性状を表3に示す。

5.2 実験結果

ガス発生量の経日変化を図－3に示す。

有機物負荷の高いものほどガス発生量は増加して

図－2 小型実験装置の概略

表 3 非食用内臓、消化汚泥及び混合初期汚泥の性状

測定項目	非食用内臓	消化汚泥	混合液初期			
			非食用内臓投入量（L）			
			0.1	0.1	0.2	0.3
			サポニン添加率（ppm）			
			0	100	100	100
pH	6.05	8.40	7.98	7.93	7.84	7.22
DOC（mg/L）	2600	1000	1480	1530	1420	1530
SS（mg/L）	150000	19700	21600	23100	24700	29400
VSS（mg/L）	140000	12300	15700	15500	18000	20900

図-3 投入汚泥量に対する累積ガス発生量

いる。サポニンを添加したものは、経過日数に比例してガス発生量が増加した。特に試料0.3 Lを毎日投入したものは有機物負荷が高いにも関わらず、有機物を可溶化、分解してガス化まで到達していることがわかる。分解速度が遅いと低級脂肪酸の蓄積にもつながり、消化速度の低下につながる。サポニン無添加であったものは、低級脂肪酸の主成分は初期には酢酸であったが、実験開始18日後には約2～3%しかなくn-酪酸が全体の7割を占めていた。これではメタン発酵はできない状態であり、メタンガスの回収は望めない。サポニンを添加したものの混合液中の酢酸の含有率は50%を占めていた。

5.3 考察

通常の有機物負荷よりも高い負荷をかけると微生物量よりも食物量が過多となり、消化が順調に進行しないのではないかとという予測に反し、サポニンを添加することによって高い有機物負荷に対しても効率よく消化することが確認できた。このことにより、サポニンはメタン発酵に関わる微生物の働きを促進させ、発酵を安定させる機能があることが確認できた。

6. 大型実験装置を用いた実証実験による検討

6.1 実験装置と実験方法

図-4 (次頁) に大型装置の概略図を示す。消化槽は外面保温張りで、攪拌ミキサによる攪拌が可能となっている。試料が非食用内臓であるため攪拌用の羽に絡まらないように羽を二枚取り付けた。最大容量は750 Lである。pH、温度、ガス発生量は記録できるようになっている。

本実験は回分式実験で行った。実験条件を表4 (次頁) に示す。

実験開始初期段階での有機物負荷は $17.8 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{day}$ とした。攪拌は実験開始20日後までは間欠攪拌、20日後からは連続攪拌で行った。この実験での試料と消化汚泥の性状及び実験開始時の混合液の初期性状を表5、6 (次頁) に示す。

分析項目はpH、DOC、SS、VSS、TS、VTS、ガス発生量、ガス組成成分、油分 (n-ヘキサン抽出物質) とした。

6.2 実験結果

ガス発生量とそのガス組成成分の経日変化を図-5、6 (61頁) に示す。

実験開始20日後に間欠攪拌から連続攪拌に変更した。その結果、ガス発生量は増加し、開始20日までと20日以降の発生量の差は4倍以上となった。また、ガスの組成についても20日以降からメタン含有率が増加した。間欠攪拌から連続攪拌に変更したことによって、均質に有機物と微生物が接触しメタン発酵の促進につながったと考えられる。

試料である非食用の内臓は脂質を多く含んでいるため初期性状は 1200 mg/L を示している。実験開始20日後の測定結果はサポニンを添加したものは約40%低下した。無添加については油分の低下はほとんど見られなかった。

6.3 考察

攪拌方法については実験当初は低速攪拌を想定し、間欠攪拌としたが、混合液が均一に混合されていないと判断し、連続攪拌に攪拌方法を変更した。連続攪拌することでメタン発酵は順調に進み、ガス発生量も大きく増加した。固形廃棄物の処理におい

図－４ 大型実験装置の概略

表 4 実験条件

消化温度	汚泥全量	混合比率	サポニン添加量
37℃	750 L	4 : 1	100ppm

表 5 消化汚泥及び非食用内臓の性状

測定項目	非食用内臓	消化汚泥
pH	6.05	8.40
DOC (mg/L)	2600	1000
SS (mg/L)	90000	19700
VSS (mg/L)	67000	12300

表 6 混合液性状

分析項目	pH	DOC	SS	VSS	ASH	TS	n-ヘキサン	TVFA
混合液性状	7.15	3450	30000	19900	10200	36200	1200	6000

単位：pHを除き (mg/L)

ては攪拌の能力が重要であることが確認された。n-ヘキサン抽出物質の除去についてはサポニン無添加の場合ではほとんど除去できなかったが、サポニンを添加したものは40%の除去率を示した。サポニンは界面活性作用があるのでこれによって油分の分解が進んだのではないかと推測される。

小型装置と同様に、より実施設に近い大型の実験装置でも十分なガス発生量があり、メタン発酵を促

進することが可能であることがわかった。また油分の分解も確認できたことで実用化の可能性が広がったと言える。

7. ま と め

本研究によって以下の成果を得た。

(1) 微生物活性助剤（サポニン）を用いたメタン発酵により、効率的かつ安定的にメタンガスを発生さ

図-5 ガス発生量の経日変化

図-6 ガス成分の経日変化

せることに成功した。メタンガスは有用ガスであり、エネルギー利用が可能であることから、エネルギー回収が可能であることがわかった。

(2) メタンガスが大量に発生することによって、対象としている畜産副産物の減量（汚泥の減量）が大きくなり、また脱水時における固液分離性が向上することがわかった。

非食用内臓のメタン発酵では、メタン以外にも二酸化炭素などエネルギーに転用できないガスが発生する。そのため、メタンを発生するメタン菌の活動に適した環境（汚泥性状、設定温度、微生物活性助剤添加率・添加タイミングなど）について検討し、効率的にメタンを発生させてエネルギー回収ができ

るシステムを構築することが求められる。今回試みた非食用内臓の処理システムをより発展させ、実用化させるためには、このような課題について改めて検討する必要がある。

引用文献

- 1) 菅原正孝, 下水汚泥嫌気性消化におけるサポニン添加効果に関する実験的研究, 月刊下水道, 20 (5), 71-73, 1997
- 2) 岩井重久ほか, 改訂下・廃水汚泥の処理, 1981
- 3) 本多淳裕, 廃棄物のメタン発酵—理論と実用技術, 1981
- 4) 社化学工学研究, 水質汚濁防止技術と装置 1—水質汚濁防止技術概論, 1979
- 5) 井出哲夫, 水処理工学理論と応用第2版, 1993
- 6) 日本副産物協会ホームページ